

真空管電位計の一方式について

その他（別言語等） のタイトル	On One of the Vacuum Tube Electrometer
著者	北村 正一，安部 嘉一
雑誌名	室蘭工業大学研究報告
巻	4
号	2
ページ	497-504
発行年	1963-06-30
URL	http://hdl.handle.net/10258/3194

真空管電位計の一方式について

北村正一・安部嘉一

On One of the Vacuum Tube Electrometer.

Shoichi Kitamura and Yoshikazu Abe

Abstract

In this paper one advanced form of the D.C. Amplifier type electrometer is shown to be able to be measured up to ± 1000 volts by using the usual pentode as inverted type connection. The inverted type voltmeter has been occasionally mentioned in literature as having a very desirable high input impedance, but as being suitable only for negative voltage measurements. In the present authors' form the plate in the ordinary pentode, 3S4-SF, is used as the control electrode, and the first grid is used as the anode, furthermore the second grid or the third grid is biased with very large negative potential so as to keep back electrons flying to the control electrode, even if any large positive input voltage is applied.

In this manner, this electrometer is constructed with the measuring voltage up to ± 1000 volts and the input resistance more than 1×10^{14} ohms.

1. はし が き

静電気現象を解明する場合に、その測定条件が多様で複雑であり、しかも非常に困難な条件を持っている場合が多いので、測定装置としては、種々の方式のものを注意深く使用し、その上出来れば理論的補正を加えなければならない。とはいえ、一般にはその理論的補正は困難なことが多い。しかし、最近、各種静電気現象の解明を強く要求されてきたため、その測定装置が多数考案されてきた。

一般に、静電気現象の測定が困難である第1の理由は、電気量が非常に微量であっても、しばしば高い電位を示すことである。すなわち、この電気量または電位を測定しようとするとき、測定器としては、測定操作によって対象電気量に変化を与えないことが必要であるため、非常に高い等価入力抗抵をもつこと（一般的には、少くとも $10^{14} \Omega$ 以上）が必要である。

静電電位計として現在までに発表されているものは、測定方法により分類すると、(1)静電電界型のものと、(2)直接型のものとがある。静電電界型は、被測定体の表面電位が、それによって生ずる電界に比例するときに、電位測定に利用することができるが、被測定体から電極まで

に距離があるので、誤差がかなりの割合で入ってくる。また、被測定体表面が平面でないと、やはり大きな誤差が入る。しかし、この型の長所は、測定電位の範囲を、任意に変えることができることで、高い電位の測定には広く用いられている。

これに対して直接型のものは、被測定体から僅かながら電荷を引き出し現象に変化を与える欠点がある。しかし、この点は、電界型がプローブを電界に挿入することによって電界を乱すという点で、同じ程度の欠点と考えられる。しかし、直接型の大きな欠点は等価入力抵抗を大きく保つことが困難であることと、測定範囲の狭いことである。もしこれらの2つの欠点を補うことができれば、直接型は被測定体の電位を直接測定することができるという長所をもつことになる。そして、特に絶縁されている導体の電位の測定には最も適していると考えられる。

筆者等は、この点に着目して、上記の直接型の2つの欠点を補う方法を考案して、一応の目的である、測定電位 $\pm 1000\text{V}$ までを、等価入力抵抗 $1 \times 10^{14}\Omega$ 以上で測定できる装置の試作に成功したのでここに発表する。

2. 直接型電位計の問題点

直接型電位計には、古くから象限電位計、静電電位計、および繊維電位計等が用いられているが、これらは一般に取り扱が不便であるため、最近では、真空管を用いたものが多く使用されている。

真空管式の電位計は、微少電位の測定には成功しているが、測定範囲が広がると問題がでてくる。まず、第1グリッドに入力を与える方式では、正負の測定範囲を持つようにするには、グリッドをバイアスする必要がある。そうすると、グリッド抵抗としては、 $10^{13}\Omega$ 以上の高抵抗は一般には使用できないのが現状であるが、このていどでは、入力抵抗としてはかなり低い値で、この点からも使用の制限を受ける。

これに対して、第1グリッドを浮かして使用する場合は、入力抵抗は $10^{14}\Omega$ まで高められるが、正負の測定範囲が非対称になり、測定範囲は一層狭められる。この欠点を補償する方法として、入力インピーダンスとして、第1グリッドに直列に静電容量を入れ、測定電位を分割するための倍率器を用いたものがある^{*}。これは、等価入力抵抗は、 $10^{13} \sim 10^{14}\Omega$ ていどで、 $\pm 300\text{V}$ まで測定できる。

測定範囲を広げる別の方法としては、真空管をいわゆる転倒して使用するものである。これは、入力をプレートに加えるので、本質的に高い電位を加えることができ、しかも、負の入力電圧に対しては、非常に高い入力インピーダンスをもつので、1928年に最初の文献⁽¹⁾が発表されてから、種々の改良が加えられてきた。

^{*} 横河電機製作所 真空管電位計 VM-401 同倍率器

転倒型の最も優れていると思われるものは⁽²⁾ROWSONの方式である。これは、5極管のそれぞれの電極を、巧みに組合せて、測定範囲を負の0.3V、50V、70V、600Vに変えることができるようにした。しかし正の電圧は測定できない。

筆者等は、この転倒型に改良を加えて、正負ともに1000Vまで測定できるようにしたものである。

3. 測定原理

3・1 回路方式について

±1000V級の直接入力型の真空管電位計を考えると、第1に問題となるのは、どのようにして、この高い電位の電源から、電流を取らずに、真空管に入力を与えるかということである。そして特に正の大きな入力を与えようとする場合を考えると、はしがきで述べたように、適当な入力抵抗がえられないため

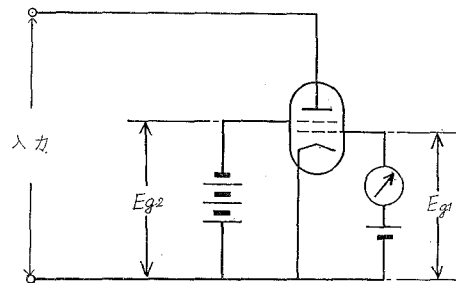


図-1 原理図

一般のグリッド入力方式では、グリッドバイアスの大きさに応じて、入力を分割し適当な大きさにしなければ、グリッドは正電位となり、大きなグリッド電流が流れ、電位計としては全く不適当なこととなる。そこで筆者等は、回路方式として転倒型接続を用いた。すなわち、通常の真空管のプレートに制御電極とし、第1グリッドを陽極とした。このようにすることにより大きな電位測定の場合でも、入力を直接真空管に与えうるようにした。

さて、転倒型接続を用いた高入力インピーダンスを持つ電圧計については、古くから色々研究されているが、筆者等は特に第2グリッド、または第3グリッド(場合によっては両者共に)を大きく負電位にバイアスすることによって、正の大きな入力電圧に対しても、制御電極に電子が飛来することを防ぎ、正負の両電位を測定範囲に持つことができるようにした。

この方式は、空間電子密度の最も高いフィラメント附近から一番離れた外側にあるプレートを制御電極に用いたことにより、電子の制御電極の流入、すなわち、制御電極電流を最小におさえようすることを意味する。(図-1 参照)

3・2 入力回路

市販されている真空管電位計では、入力抵抗として、 $10^9 \sim 10^{12} \Omega$ の真空高抵抗管を使用しているが、耐圧は30Vでいどにすぎない。したがって、1000V級の入力に対しては、この真空高抵抗管を使用するわけにはいかない。そしてさらに、1000Vの入力に対しては、 $10^{14} \sim 10^{15} \Omega$ でいどの入力抵抗が電位計としてはほしいところである。

そこで、筆者等はこの高入力抵抗をうるために、制御電極を浮遊状態とし、制御電極と陰極の間の実効漏洩抵抗をもって入力抵抗とした。

したがって、入力インピーダンスとしては、制御電極（プレート）と他の電極間および接地間の容量と、先の入力抵抗の平行回路が等価回路として考えられる。（図-2 参照）

いまこの制御電極に入力が与えられた場合を考えて見る。図-2において仮に等価入力抵抗が ∞ であるとする、ある期間外部電圧が与えられれば、それ以後は制御電極に充電電流は流れない。そして、制御電極の電位により、真空管は最初の入力

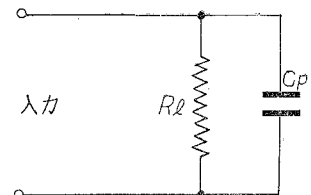


図-2 プローブの等価入力インピーダンス

零の平衡状態から、印加された電圧に応じた平衡状態に移り、陽極（第1グリッド）電流は、制御電極電位により制御される。

そこで、陽極回路に電流計を入れるか、または、負荷抵抗の出力電圧より、制御電極の入力を知ることができる。

これらのことは、等価入力抵抗が ∞ のときにいえることであるが、もし、等価入力抵抗が充分大きく、被測定体の電荷が僅かしか失なわれないとすると、同じようなことがいえ、電位計として使用できる。

筆者等は、この等価入力抵抗の大きさとして、一応 $10^{14}\Omega$ 以上を適正な値と考えている。

4. 真空管について

電位計としては、被測定体から電荷を取らないようにする必要がある。

さて、筆者等の電位計では、前章でのべたように、制御電極は浮遊状態にしてその漏洩抵抗をもって入力抵抗とするのであるから、制御電極電流はできるだけ流れないようにしなければならない。

制御電極電流の大きさは、制御電極の陰極に対する電位、フィラメント電流等の外部的条件ならびに真空管内の残留ガスの量、電極間の絶縁材料等の内部的条件に左右される。

この制御電極電流の原因となるものは、色々のものが考えられ、これらの電流の大きさは、それぞれの真空管ごとに非常にちがっている。

真空管の外部条件による制御電極電流の大きさ、したがって入力抵抗の大きさについては、のちに電位計の諸定数の項でくわしくのべることにして、ここではどのようにして良い真空管を選べばよいかについてのべる。

制御電極電流の少ない真空管の選出のテスト法として、筆者等はつぎの方法をとった。

すなわち、前記（図-1）原理図において、陰極、第1グリッド、第2グリッド等をそれぞれ

れ使用状態にし、入力として負の大きな電位を制御電極に与えて負に帯電させたのち、入力を取り去って電極を浮遊状態にする。

このような状態にすると、制御電極に与えられた電荷は、時間とともに等価漏減抵抗を通じて失なわれていくことになり、陽極回路電流は時間とともに増加して入力零の平衡状態に近づく。

このテストにより、短時間に陽極電流が増加して最終値に近づくものほど、制御電極電荷が早く失なわれる——いいかえれば制御電極電流が大きい——ことになり、真空管の良否の指数としての全制御電流の少ないものを知りうる。

なお、3・1回路方式でのべたように、筆者等の電位計では、正の測定範囲をもつようにするため、第2、または第3グリッドを負にバイアスしなければならないので、当然真空管は4極管以上の多極管でなければならない。

筆者等は試作電位計の真空管として、ラジオ用の3S4—SFを下記のように使用して所記の目的を得た。

5. 試作電位計

5・1 プローブ

電位計の入力回路は、さきに原理でのべたように非常に高い入力抵抗を必要とする。そこでまず、真空管の表面漏洩電流ならびに制御電極よりの光電子放出を極力小さくすることが必要である。

筆者等は、これらの問題と静電誘導をさけるために、プローブに対してつぎのような手段をとった。

- (1) 真空管については前章でのべたテストを行ない、最良のものを選ぶ。
- (2) 管の外壁を蒸溜水ならびにリグロインで良く洗浄し高温乾燥する。
- (3) 以上の処理ののち、真空管のピンの部分をマイカ粉を混入したポリエステル樹脂で固める。
- (4) また外部よりの光線と静電誘導をさけるために、真空管を金属で遮廠する。

(図—3 参照)

以上の(2)～(4)の処理により、表面漏洩電流、光電子放出は少なくなり、処理以前に比して等価入力抵抗の値を格段と高めることができた。

5・2 電位計回路

電位計回路は、制御電極電流の少ない適切な動作を与えることと、ドリフトが少く安定であることが必要である。

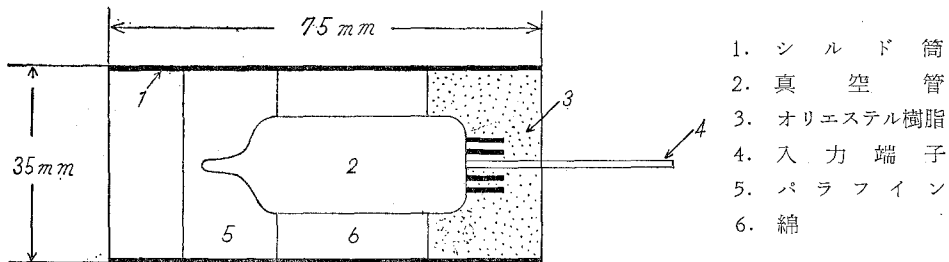


図-3 プロープの構造

前者の問題は、真空管のそれぞれの電極のバイアス電圧により定まるのであるから、これについては、つぎの5・3節回路定数のところで、くわしくのべることにし、ここではドリフトについて考える。

ドリフトの原因には、電源電圧変動、温度変化、経年変化等がある。電源電圧はいうまでもなく安定化したものでなければならず、真空管の経年変化については、初点火以後100時間たてば、ほぼ安定したと見なしてよいと思われる。

筆者等はドリフトを補償する意味で、2つのほぼ静特性の等しい真空管を選びだし、これらを差動式接続とした。(図-4)

回路図中、 E_f , E_{g1} は蓄電池、 E_{g2} , E_{g3} は安定化されたエリミネータ電源を用いた。

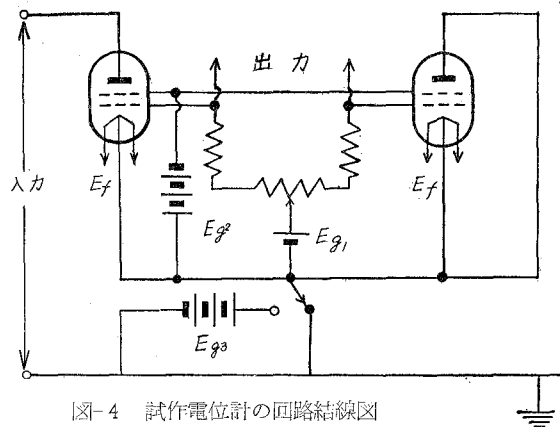


図-4 試作電位計の回路結線図

5・3 回路定数

(a) ファイラメント電流

ファイラメントは、制御電極よりの光電子放出ならびにグリッドよりの熱電子放出を少なくするため、できるだけ低い温度が好ましい。本試作品では、測定のかかり長い時間にわたり、安定した特性が維持できる最低値の16mAとした。

(b) 第1グリッド、第2グリッドのバイアス電圧

第1グリッドの正バイアス電圧と、第2グリッドの負バイアス電圧の大きさは、相互に関連して定めねばならない。

正の大きな入力に対しても制御電極電流が流れないようにするには、第1グリッドの電位はなるべく低く、第2グリッドの負バイアス電圧は、なるべく大きくする必要がある。

一方負の大きな入力に対しては、第2グリッドは大きく負バイアスする必要はない。そして正負の入力に対して、入出力特性が直線であるようにするには、静特性より正負バイアス電圧に一定の限度がある。筆者等の実験では、正の入力に対しては、 $E_{g1}=15V, E_{g2}=-65V$ 、負の入力に対しては、 $E_{g1}=15V, E_{g2}=-40V$ という値で入出力特性は直線的であり、また等価入力抵抗も高い値であった。

(c) 入出力特性

以上の諸定数のもとに、負荷抵抗 $25K\Omega$ のときの入出力直線は、(図-5) のようになる。

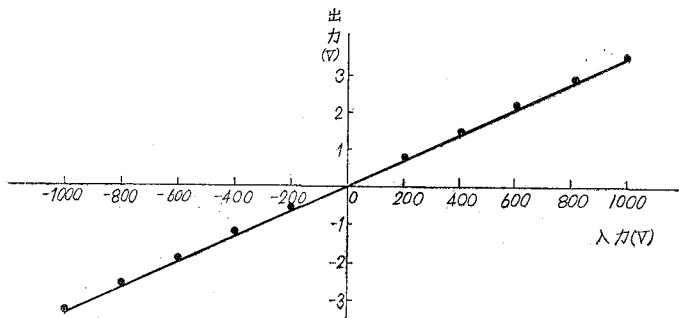
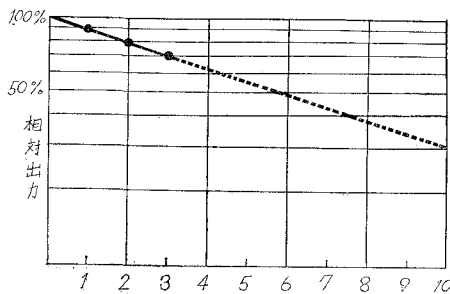


図-5 試作電位計の入出力直線

(d) 入力インピーダンス

入力抵抗の測定法としては電気量損法を用いた。すなわち、第4章でのべた真空管テスト法と同じ方法で、制御電極の電荷は等価入力抵抗を通じて放電すると考えて、C-R回路の時定数より入力抵抗を求める。なお、入力容量 C_p は $11pF$ であった。

以上の方法で求めた代表的な入力電圧における減衰曲線を(図-6 (i)), (ii) に示す。



(t) 時間

図-6(i) +1000Vの入力における減衰曲線、tの単位は時間

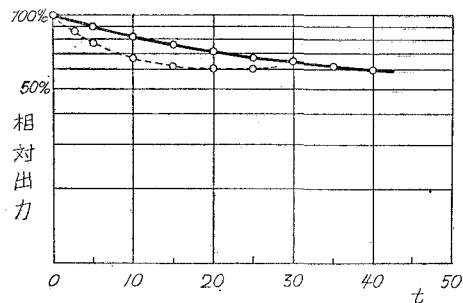


図-6(ii) 減衰曲線

—— +500Vの入力における減衰曲線、tの単位は分
 - - - - +1000Vの入力における減衰曲線、tの単位は秒

図-6 (i) より負の入力に対しては、入力抵抗は極めて大きく、 $10^{15}\Omega$ 以上あることがわかる。しかしこれにたいして、正の入力においては図-6 (ii) よりわかるように、入力抵抗ははるかに低い値となる。

したがって、電位計としては正の大入力の場合に使用が不適当となる。入力が正のきな値の場合についての入力抵抗を(図-7)に示す。

図-7 より、入力が $+500\text{V}$ 以下であれば、入力抵抗は $10^{14}\Omega$ 以上であることがわかるので、 $+500\sim+1000\text{V}$ を測定するためには、測定系全体を接地より $+500\text{V}$ 上昇させて、この基準電圧と入力電圧の差をプローブの入力として与えて測定をすればよい。(図-4 Ef_3 参照)

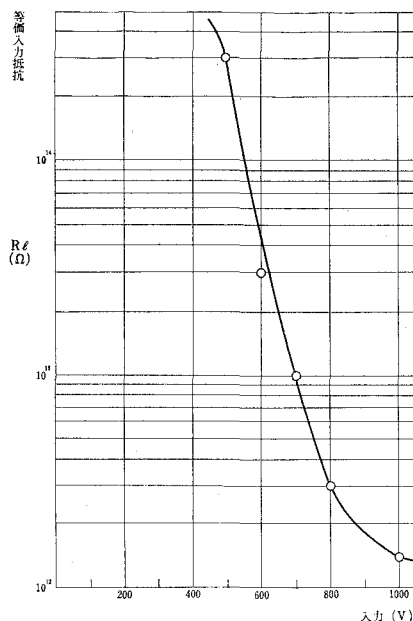


図-7 正の大きな入力に対する等価入力曲線

6. あとがき

以上のようにして、多極管を転倒型接続にすることによって、 $\pm 1000\text{V}$ 以内を等価入力抵抗 $1 \times 10^{14}\Omega$ 以上で測定しうる電位計を試作した。もし電極間の絶縁耐力が更に高い真空管を用いるならば、より高い電圧範囲まで測定可能になると考えられる。

この試作電位計の特徴は、一般の真空管を用いているので、非常に安価に作りうることであるが、とにかく実験室向であって、工業用などの目的には、さらに色々の対策が必要になると思われる。

最後に、本研究にあつて種々御鞭撻下された本学の山上孝教授と、測定に協力していただいた短期大学部学生三上格五郎君に厚く御礼を申します。

(昭和38年4月27日受理)

文 献

- 1) F. E. Terman : Proc. I. R. E., 16, p.447 (1928)
- 2) R. B. Rowson and A. p. Williams : Wireless World 66, (8) p.403 (1960)